



안정바와 측면봉 사용에 따른 샤워배변 휠체어의 강도 및 강성 해석

이종선^{a*}, 제양규^a, 이환희^a

Analysis on Strength and Stiffness of Shower Commode Wheel Chair with Stabilizer and Lateral Bar

ChongSun Lee^{a*}, YangGyu Jei^a, HwanHee Lee^a^a Department Mechanical and Control Engineering, Handong Global University,
558, Handong-ro, Pohang, Gyeongbuk-do, 37554, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 July 2018
Revised 28 August 2018
Accepted 10 September 2018

Keywords:

Shower commode wheel chair
Structure analysis
Lateral bar
Stabilizer

ABSTRACT

Structural analysis was performed for a new type of shower commode wheel chair. The wheel chair structure was modeled for structural simulation, and stresses and deformation were evaluated depending on the presence of stabilizer and lateral bars used to supplement structural safety. Experiments were performed using strain gage rosettes and laser distance sensors to validate simulation results. The experiments showed that the stresses and deformation were within 10% of simulation results. The simulation showed that stabilizers and lateral bars were essential to reduce lateral deformation caused by bending of the plastic lower frame. Thus, the appropriate number of stabilizers and lateral bars needs to be determined to ensure structural safety while minimizing inconvenience in using the shower commode wheel chair.

1. 서론

고령화 시대를 맞이하면서 일상생활을 촉진하고 보호자의 수발을 손쉽게 해 줄 수 있는 샤워배변 휠체어에 대한 수요가 높아지고 있다. 거동이 불편한 휠체어 사용자의 가장 큰 애로사항은 휠체어를 타고 내릴 때이며, 이를 극복하기 위하여 사용자를 휠체어에서 침대로 쉽게 이동할 수 있는 측면보호대를 이용한 환자이송장치가 최근에 개발되었다^{1,2}.

Fig. 1에 개발된 휠체어의 주요 부품과 재질이 도시되었다. 등받이 각도 조절을 위하여 왼쪽 편에 가스 스프링을 활용한 조인트 구조를 갖추었고 하부 프레임에는 플라스틱 재료를 사용하였다. 플라스틱 사출로 휠체어를 제조할 수 있으므로 단가 절감과 생산성이

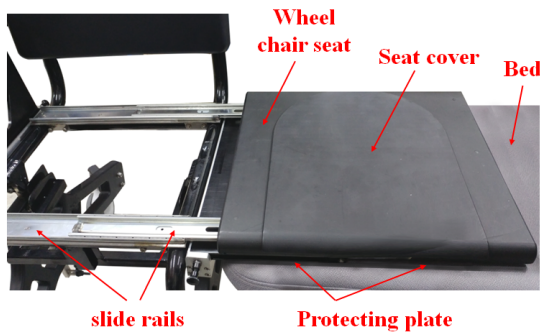
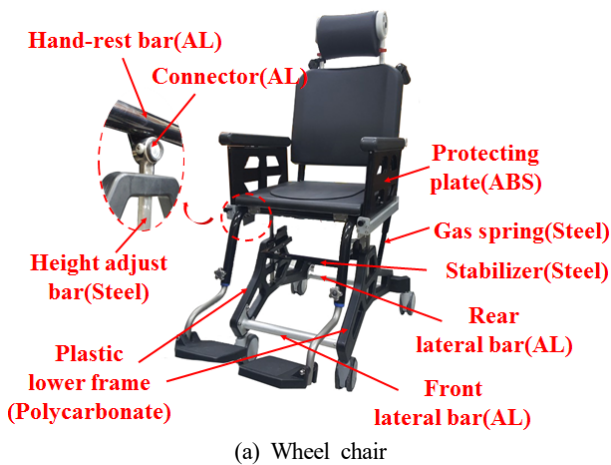
향상되지만, 플라스틱의 강성이 낮아서 굽힘변형에 취약한 단점을 갖는다. 이를 보완하기 위하여 좌우 하부프레임을 연결하는 안정바(stabilizer)와 측면봉(lateral bar)을 설치하여 휠체어 구조의 안정성을 높였다.

개발된 휠체어에는 사용자를 휠체어에서 침대로 이동시키고자 할 때에 승하차가 편리하도록 돕는 기구인 측면보호대(protecting plate)가 좌우측 손잡이봉 밑에 비치되어 있으며 시트 이송을 위한 슬라이드 레일이 시트 하부에 설치되어 있다. 기존의 휠체어에서는, 거동이 불편한 노약자 또는 환자를 휠체어에서 침대로 이동하고자 할 때에 여러 사람들이 환자를 들어 올려서 침대 위에 올려놓아야 하는 불편함이 있다. 개발된 제품에서는 휠체어를 침대 옆에 위치시킨 후에 휠체어에 장착된 측면보호대를 빼내어 침대 위에

* Corresponding author. Tel.: +82-54-260-1393

Fax: +82-54-260-1322

E-mail address: cslee@handong.edu (ChongSun Lee).



(b) Slide rails and protecting plate placed on bed

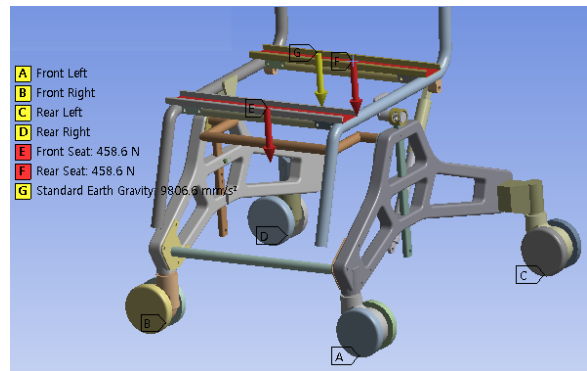
Fig. 1 Structure of shower commode wheel chair

걸치고 환자가 앉아 있는 시트를 슬라이드 레일과 함께 밀어서 침대 위에 놓인 측면보호대 위로 이송시킬 수 있도록 되어 있다.

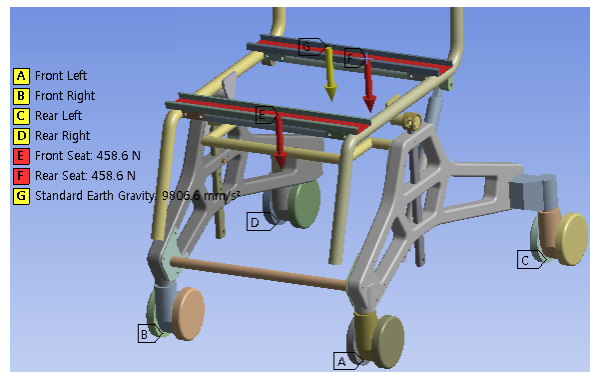
본 연구에서는 일반 휠체어와는 차별성 있게 설계된 사위배변 휠체어에서 측면봉과 안정바의 유무에 따른 전체 구조의 응력 분포와 변형을 해석함으로써 안전성을 점검하기 위해 수행되었다. 시뮬레이션을 검증하기 위하여 휠체어의 주요 부위에 스트레인게이지를 붙여서 응력을 측정하고 변형이 큰 부분에는 변위센서를 설치하여 변형량을 측정하는 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 새로운 개념의 휠체어 설계 시에 구조해석에 기반을 둔 설계를 통해 안전성을 확보하는 방향으로 구조를 수정 보완함으로써 개발 시간을 단축시킨 사례를 제시하였다.

2. 구조해석 모델

Fig. 2에 사위배변 휠체어의 구조해석모델이 도시되었다. 플라스틱 하부프레임과 높이 조절바가 휠체어 좌우에 각각 있으며, 등받이 각도 조절을 위한 가스 스프링이 왼쪽 프레임에 보인다. 플라스틱 하부프레임의 강성이 취약하여 굽힘변형이 크게 발생하므로 하부프레임의 좌우를 연결하는 측면봉과 하부프레임 윗부분의 좌우를 연결하는 안정바를 설치하였다.



(a) Wheel aligned in lateral direction



(b) Wheel aligned in longitudinal direction

Fig. 2 Simulation model of shower commode wheel chair in ANSYS

바퀴가 종방향으로 정렬된 경우와 횡방향으로 정렬된 경우에 대한 구조해석의 결과가 다르므로, 두 가지 케이스를 각각 모델링하여 해석하였다. 측면봉과 안정바가 구조적 강성과 강도에 어떤 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 이 부재들이 있는 경우와 없는 경우를 다섯 가지 케이스로 구별하여 해석을 수행하였다.

구조해석을 위하여, 휠체어 전체구조물의 캐드모델(Solid-works)을 앤시스 워크벤치(ANSYS workbench)로 불러들였다. Fig. 2에 도시된 바와 같이, 간소한 해석을 위하여 구조강성에 영향을 주지 못하는 시트, 볼트 및 너트 등의 부품들은 제거하고 부품 간의 하중 전달이 될 수 있도록 연결 조건을 부여하였다³⁻⁶⁾. Table 1에는 해석에 사용된 휠체어 모델의 접촉조건, 기구학 조인트 및 경계조건이 도시되었다. 결합된 부품사이의 접촉 상황에 따라 본드 결합조건(bond) 또는 분리방지조건(no separation)을 적용하였다. 용접부는 본드접촉으로 구현하였고, 서로 맞닿아 있는 부품 사이 또는 볼트와 접촉되는 부품은 분리방지접촉조건을, 나사산으로 결합되는 부위는 본드접촉을 주었다. 하중의 전달을 구현하기 위하여 가스 스프링의 양 끝 연결조인트에 레벌루트 조인트 기구학 구속조건을 각각 부여하였다. 좌우편의 높이조절바와 커넥터 축 사이에도 레벌루트 조인트 기구학 구속조건을 부여하였다. 높이조절바와 플라스틱 하부프레임 사이의 상대이동이 가능하므로 두 부품 사이에

Table 1 Contact, joint, and boundary conditions applied in wheel chair model

Category	Type	Location	Numbers
Contact	Bonded	Welding parts, threads	51
	No separation	Parts in contact	23
Joint constraint	Revolute	Gas spring end .vs. lower frame (left side only)	2
		Height adjust bar .vs. connector (both sides)	2
	Translational	Height adjust bar .vs. plastic lower frame (both sides)	2
Boundary condition	Displacement (UZ=UX=0 or UZ=UY=0)	Four wheels (lateral or longitudinal wheel alignment)	4

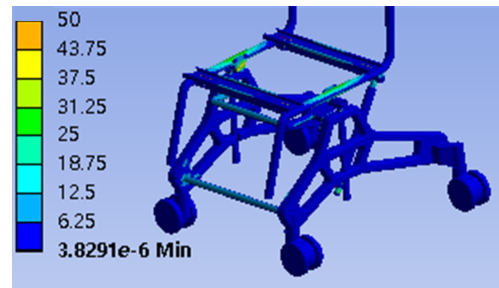
트랜스레이션 조인트 기구학 조건을 주었다. 네 바퀴가 지면에 닿는 부위에 바퀴방향으로 10 mm 길이의 타이어 패치를 각각 만들고 바퀴의 구름방향을 제외한 자유도를 구속하였다. 하중조건으로는 휠체어 자중과 80 Kg의 사용자 무게를 시트가 놓이는 앞뒤 범에 반씩 부여하였다.

응력이 크게 걸리는 커넥터 부품은 hex요소 2 mm, 손잡이 봉 등은 tetra요소 3 mm, 전체 부품은 tetra요소 10 mm의 크기를 주었다. 메시 수를 더 늘여도 결과의 차이가 거의 나타나지 않는 절점 수 25만개를 메시 수렴값으로 판단하여 모든 해석에 사용하였다.

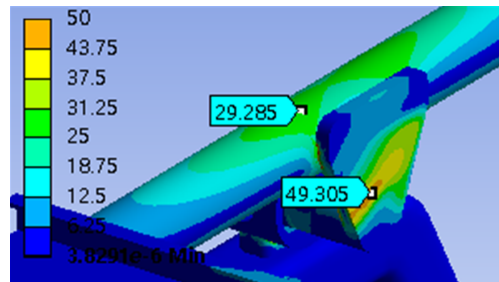
3. 해석 결과

3.1 횡방향 바퀴정렬 휠체어 모델

Fig. 3에 바퀴가 횡방향으로 정렬되었을 때에 휠체어(전륜 측면봉과 안정바 장착 모델)의 응력해석 결과가 도시되었다. 응력이 크게 분포된 곳은 손잡이가 얹히는 양쪽 손잡이봉과 상하부 프레임을 연결하는 커넥터였다. 좌우편 손잡이봉의 최대응력은 29.3 MPa, 가스 스프링이 장착되지 않는 오른쪽 커넥터의 최대응력은 49.3 MPa 이었다. 가스 스프링이 있는 왼편 커넥터의 최대응력은 29.0 MPa로서 가스 스프링 링크의 도움으로 응력이 감소한 것을 알 수 있었다. 이상에서, 휠체어의 최대응력은 커넥터에서 발생하였고 알루미늄 재료의 항복강도(200 MPa) 대비 안전율은 약 4이었다. 플라스틱 하부프레임의 최대응력은 5 MPa에 불과하여 폴리카보네이트 재료의 인장강도 75 MPa에 훨씬 미치지 못하였다. Fig. 4에는 구조물의 횡방향 변형량이 도시되었다. 변형 형상을 살펴보면, 강성이 약한 플라스틱 프레임이 굽힘변형으로 휘어졌으며, 이로 인



(a) Wheel chair



(b) Hand-rest and connector

Fig. 3 Von-Mises stress (MPa) distribution of wheel chair model with four wheels aligned to lateral direction

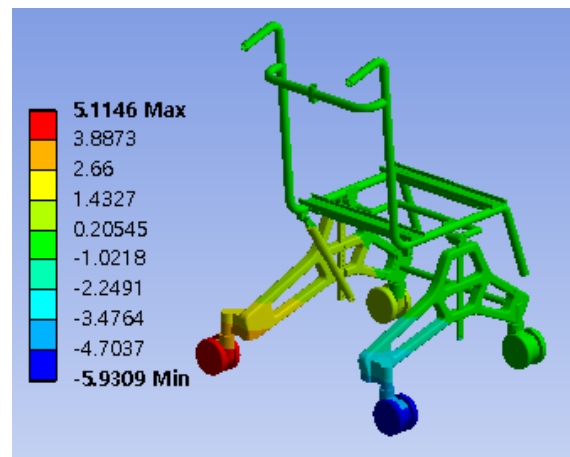


Fig. 4 Lateral deformation (mm) of wheel chair model with four wheels aligned to lateral direction

하여 뒷바퀴의 횡방향 벌어짐(rear wheel tread)이 약 11 mm에 달하였다.

Fig. 3과 4의 해석 결과는 전륜 측면봉과 안정바 장착 모델에 대한 경우였으며, 안정바(stabilizer: SB)와 앞/뒤 측면봉 (front lateral bar: FLB/ rear lateral bar: RLB)의 장착 유무에 따른 다섯 가지 케이스에 대한 응력과 변형량의 변화를 Table 2에 요약 정리하였다. 안정바와 측면봉은 바퀴의 횡방향 변형과 커넥터 응력을 크게 감소시킴을 관찰할 수 있다. 케이스 1처럼 안정바와 측면봉이 전혀 없는 경우에는, 커넥터의 최대응력 195 MPa, 뒷바퀴의 횡방향 벌어짐 21 mm, 시트의 연직변형량은 3.2 mm로서, 강도와

Table 2 Comparison of stress and deformation with four wheels aligned to lateral direction (FLB: front lateral bar, SB: stabilizer, RLB: rear lateral bar)

Case	Option			Maximum stress (MPa)		Deformation (mm)	
	FLB	SB	RLB	Hand-rest bar	Connector	Rear wheel tread	Seat height
1	X	X	X	30.1	195.2	21.0	3.2
2	X	O	X	29.1	85.2	13.6	2.2
3	O	X	X	28.5	75.3	12.2	1.9
4	O	O	X	29.3	49.3	11.0	1.8
5	O	O	O	28.9	16.1	1.2	1.1

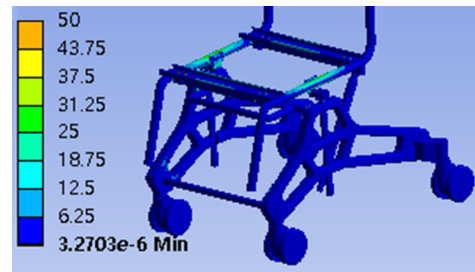
강성 측면에서 안정봉과 측면봉이 절대적으로 필요함을 보여주고 있다. 케이스 4처럼 안정봉과 앞바퀴 측면봉을 설치할 경우에는, 커넥터의 최대응력 49.3 MPa, 뒷바퀴의 횡방향 벌어짐 11 mm, 시트의 연직변형량은 1.8 mm 으로서 뒷바퀴의 횡방향 벌어짐을 감소시킬 필요가 있다(Fig. 3과 4에 해당되는 모델). 케이스 5처럼 안정봉과 앞뒤 측면봉을 모두 설치할 경우에는, 커넥터의 최대응력 (16.1 MPa)과 뒷바퀴의 횡방향 벌어짐(1.2 mm)이 크게 줄어들었고 시트의 연직변형량은 1.1 mm에 불과하므로 매우 안정적인 구조를 갖게 된다.

3.2 종방향 바퀴정렬 휠체어 모델

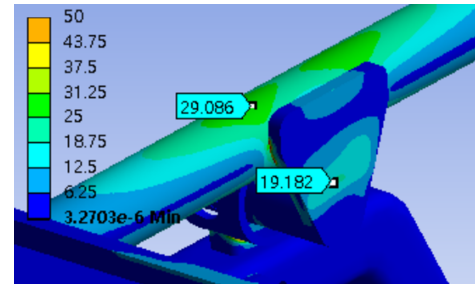
Fig. 5에 바퀴가 종방향으로 정렬되었을 때에 휠체어(전륜 측면봉과 안정봉 장착 모델)의 응력해석 결과가 도시되었다. 횡방향 바퀴정렬의 경우와 마찬가지로, 응력이 크게 분포된 곳은 손잡이가 얹히는 양쪽 손잡이봉과 상하부 프레임을 연결하는 커넥터였다. 좌우편 손잡이봉의 최대응력은 약 29.1 MPa, 가스 스프링이 없는 오른쪽 커넥터의 최대응력은 약 19.2 MPa 이었다. 가스 스프링이 있는 왼쪽 커넥터의 최대응력은 약 16 MPa로서 가스 스프링 링크의 도움으로 응력이 감소한 것을 알 수 있다. 횡방향 바퀴정렬에 비하여, 휠체어 손잡이봉의 응력은 비슷하였지만 커넥터부의 응력은 반 이하로 크게 감소하였다.

횡방향 바퀴정렬과 유사하게 플라스틱 하부프레임의 최대응력은 5 MPa에 불과하여 폴리카보네이트 재료의 인장강도 75 MPa에 크게 미치지 못하였다. Fig. 6에는 구조물의 변형량이 도시되었다. 바퀴가 종방향으로 정렬되었으므로 횡방향 벌어짐은 제한되었고, 종방향 바퀴 벌어짐은 0.8 mm, 시트의 연직변형량은 1.2 mm에 불과하여, 횡방향 바퀴정렬에 비하여 변형량이 매우 작게 나타났다.

Table 3에는 안정봉과 앞뒤 측면봉의 유무에 따른 응력과 변형량이 도시되었다. 횡방향 바퀴정렬의 경우와는 다르게, 안정봉과 측면봉의 설치 유무에 따라 응력과 변형량의 차이가 크게 나타나지



(a) Wheel chair



(b) Hand-rest and connector

Fig. 5 Von-Mises stress (MPa) distribution of wheel chair model with four wheels aligned to longitudinal direction

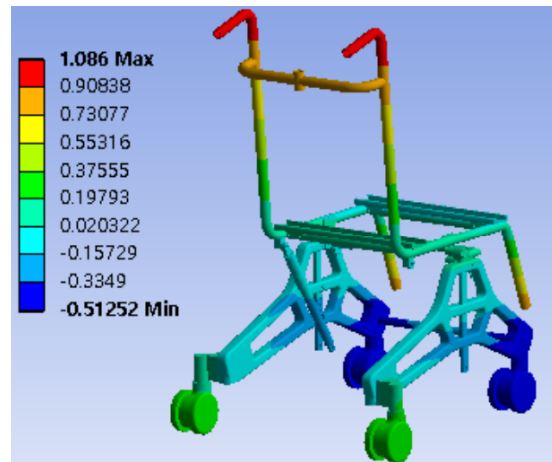


Fig. 6 Longitudinal deformation (mm) of wheel chair model with four wheels aligned to longitudinal direction

Table 3 Comparison of stress and deformation with four wheels aligned to longitudinal direction (FLB: front lateral bar, SB: stabilizer, RLB: rear lateral bar)

Case	Option			Maximum stress (MPa)		Deformation (mm)	
	FLB	SB	RLB	Hand-rest bar	Connector	Wheel base	Seat height
1	X	X	X	28.9	30.7	0.8	1.2
2	X	O	X	29.0	24.3	0.8	1.1
3	O	X	X	28.9	21.9	0.8	1.1
4	O	O	X	29.0	19.2	0.7	1.1
5	O	O	O	28.9	16.5	0.6	1.1

않았다. 케이스 1처럼 안정바와 측면봉이 전혀 없는 경우에도, 손잡이봉과 커넥터의 최대응력이 30 MPa 정도이며 휠체어의 변형량은 1 mm에 불과 하였다. 그러므로 바퀴가 종방향으로 정렬될 경우에는, 안정바와 측면봉이 없이도 휠체어의 구조적 강도와 강성에 문제가 없음을 알 수 있다.

4. 응력과 변위 측정 실험

시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여, 스트레인게이지를 활용한 응력 측정과 변위계를 활용한 변형량 측정 실험을 수행하였다. Fig. 7에 도시된 것처럼 1 mm 크기의 알루미늄 45도 스트레인 로제트 게이지를 응력이 크게 걸리는 휠체어 손잡이봉, 커넥터에 붙이고 자체 제작 온도보상 더미게이지를 갖는 쿼터브릿지회로를 구성하여 측정을 실시하였다⁷⁾. 스트레인앰프를 활용하여 게인 1,500과 저주파 필터 10 Hz를 전압 신호에 적용하여 랩뷰 프로그램으로 스트레인 신호를 받았다. 또한, 휠체어 구조물의 안정성 확보가 중요한 변수로 판단되어 레이저변위계를 설치하여 구조물의 변형에 의한 휠체어 바퀴 사이의 횡 간격을 측정하였다.

휠체어의 횡방향 바퀴정렬 상태에서 안정바와 앞바퀴 측면봉을 장착한 모델(Table 2의 케이스 4 모델)에 대해 80 Kg의 하중을 시트에 주고 실험을 실시하였다. Table 4에 실험과 시뮬레이션의 응력과 변위값이 비교 도시되었다. 손잡이봉과 커넥터의 응력값은 시뮬레이션과 10% 내외의 오차를 보였으며, 뒷바퀴의 횡방향 벌어짐도 6.7%의 오차를 보임으로써 휠체어 전체 구조의 시뮬레이

션 결과를 신뢰할 수 있다고 판단하였다.

5. 고찰

본 연구에서는 고령자의 일상생활을 촉진하고 보호자의 수발을 손쉽게 해 줄 수 있기 위해 개발 중인 사위배변 휠체어의 구조해석 시뮬레이션을 수행하였다. 개발된 휠체어는 양산시의 제작비용을 감소시키기 위하여 플라스틱 재료를 사용한 결과, 굽힘변형에 취약 하였다. 이를 극복하기 위하여 좌우 하부프레임을 연결하는 측면봉과 안정바를 설치하여 휠체어 구조의 강성과 강도 및 구조적 대칭성을 향상시켰다. 휠체어 이용 시에 바퀴의 각도가 여러 방향으로 정렬될 수 있으므로 바퀴의 각도를 종방향과 횡방향으로 정렬시킨 두 모델에 대해 각각 해석을 수행하였다.

시뮬레이션을 검증하기 위하여 휠체어의 위험 부위에 스트레인 게이지와 변위센서를 붙여서 응력과 변위를 측정하는 실험을 수행하였다. 상대적으로 응력과 변형량이 크게 발생하는 휠체어의 횡방향 바퀴정렬 상황에서, 80 kg의 하중을 얹고 측정한 좌우바퀴의 횡방향 변형량과 커넥터 및 손잡이봉의 응력값은 시뮬레이션 값과 10% 이내의 차이를 나타냄으로서 구조해석 시뮬레이션 모델을 타당성을 확인하였다.

등받이 각도 조정을 위해 왼쪽에 설치된 가스 스프링 구조는 휠체어의 비대칭을 야기하며 오른쪽 구조를 상대적으로 약화시키어 오른쪽 커넥터에서의 응력이 왼쪽 커넥터 보다 약 50% 높은 것으로 관찰되었다. 하부프레임의 좌우를 연결하는 안정바와 전륜 측면봉이 있는 횡방향 바퀴 정렬모델에서는 안정바와 측면봉이 전혀 없는 경우에 비하여 바퀴의 좌우 벌어짐이 약 두 배 감소하였고, 커넥터에서 발생하는 최대응력이 1/4 이하의 값으로 떨어졌다. 그러므로, 안정바와 측면봉은 휠체어 구조의 굽힘에 대한 강성을 높이고 대칭성을 높임으로서 횡방향 변형을 줄이고 커넥터에 걸리는 하중을 구조 전체에 분산시키는 효과가 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 뒤쪽 측면봉의 설치 유무에 대하여 특별한 관심을 갖고 해석을 수행하였다. 후륜 측면봉이 없을 경우에는 휠체어를 후진시키어 번기에 갖다 대기가 매우 용이하기 때문이다. 안정바와 전륜 측면봉만이 설치된 휠체어(Table 2의 케이스 4 모델)에서 횡방향 바퀴 정렬모델의 경우, 80 kg의 하중이 시트에 걸린 경우에 최대응력은 커넥터에서 49.3 MPa로서 알루미늄의 항복강도 대비 안전계수 4 이상이 확보되었다. 플라스틱 하부프레임의 최대응력은 5 MPa로서 폴리카보네이트 재료의 인장강도 75 MPa에 크게 미치지 못하였다. 그러나 좌우바퀴의 횡방향 벌어짐이 11 mm로서 상당한 크기였다. 이 문제를 해결하기 위하여 후륜 측면봉을 설치할 경우(Table 2의 케이스 5 모델)에는 커넥터의 응력이 16 MPa로 크게 줄어들었고 바퀴의 횡방향 벌어짐이 1 mm로 크게 감소하

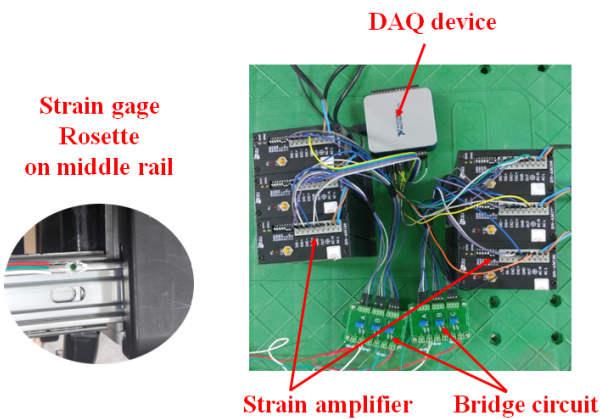


Fig. 7 Experimental setup

Table 4 Comparison of stress and deformation between experiment and simulation in wheel chair

	Maximum stress (MPa)		Deformation (mm)
	Hand-rest bar	Connector	Wheel span
Experiment	18.3	32.8	9.75
Simulation	21.2	33.3	9.10

였다. 바퀴의 횡방향 벌어짐을 줄이는 것은 휠체어의 구조적 안정성 확보에 중요하며, 두 케이스 중에 어떤 디자인을 선택할 것인지는 구조해석의 결과를 참조하여 사용 용도에 따라 결정해야 할 것으로 사료된다.

6. 결론

본 연구는 개발 중인 사위배변 휠체어의 구조적 안정성에 관한 것이다. 위험 부위에서의 응력과 변형량이 실험과 유사한 결과를 보임으로서 시뮬레이션의 타당성을 검증하였다. 하부프레임의 좌우를 연결하는 안정바와 안정봉은 횡방향 바퀴 배열에서 굽힘변형에 대한 휠체어의 횡변위를 제한하고 커넥터의 응력을 감소시키기 위해 중요한 것으로 확인되었다. 이러한 구조적 보강 설계는 사위배변 활동에 불편함을 야기하므로 구조적 안정성을 확보하는 한도 내에서 최소로 사용할 필요성이 있다. 본 연구에서는 새로운 개념의 휠체어 설계 시에, 구조해석에 기반을 둔 설계를 수행함으로써 구조적 안전성을 확보하고 개발 프로세스를 단축시킨 사례를 제시하였다.

후 기

본 연구는 승하차 지원 고령 친화형 휠체어 개발 과제(중소기업청 중소기업기술개발지원사업, S240930510) 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Jei, Y. G., 2014, Patients Transfer Apparatus Using Side Safety Rails, Korean Patent 101355756.
- [2] Jei, Y. G., 2016, Patients Transfer Apparatus Using Side Protector, US Patent 09351893.
- [3] TNSE 2017, Escape from Beginner of ANSYS 18.0, Sigma Press, Korea.
- [4] Lee, C., S., 2018, Research on Development of Portable Tensile Test Machine for Generating Stress-Strain Curve of Metal, Korean J. of Computational Design and Engineering, 23:2 165-172.
- [5] Lee, H. S., Lee, J. S., 2015, Approximate Optimization Design Considering Automotive Wheel Stress, Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 24:3 302-307.
- [6] Kim, J. H., Lee, J. S., 2015, Approximate Multi-Objective Optimization of Scroll Compressor Lower Frame Considering the Axial Load, Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 24:3 308-313.
- [7] Hystad, M. B., Alciantore, D. G., 1999, Introduction to Mechatronics and Measurement Systems, 5th ed., McGraw-Hill.